

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт космических и информационных технологий  
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Г. М. Цибульский

подпись

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

09.03.02 — Информационные системы и технологии

Разработка программного модуля атмосферной коррекции спутниковых  
изображений

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

доцент, канд. техн. наук

Р. В. Брежнев

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Ю. С. Петрова

Красноярск 2018

Продолжение титульного листа бакалаврской работы по теме «Разработка программного модуля атмосферной коррекции спутниковых изображений»

Нормоконтролер

---

подпись, дата

Р. В. Брежнев

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт космических и информационных технологий  
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Г. М. Цибульский

подпись

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме бакалаврской работы**

Студенту Петровой Юлии Сергеевне

Группа КИ14-11Б, направление 09.03.02 «Информационные системы и технологии», профиль подготовки 09.03.02.04 «Информационные системы и технологии в медиаиндустрии».

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка программного модуля атмосферной коррекции спутниковых изображений».

Утверждена приказом по университету № 4533/с от 29.03.2018

Руководитель ВКР Р. В. Брежнев кандидат технических наук, доцент кафедры систем искусственного интеллекта ИКИТ СФУ.

Исходные данные для ВКР: задание на бакалаврскую работу, полученное в рамках научно-учебной лаборатории «Информационной поддержки космического мониторинга» Института космических и информационных технологий.

Перечень разделов ВКР:

- введение;
- обзор методов и программных комплексов с возможностью проведения атмосферной коррекции;
- выводы по главе 1;
- разработка модуля атмосферной коррекции спутниковых изображений;
- выводы по главе 2;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения А – В (акт об использовании результатов проектирования в рамках бакалаврской работы, результат проверки в системе «АНТИПЛАГИАТ», плакаты презентации).

Перечень графического материала: презентация «Разработка программного модуля атмосферной коррекции спутниковых изображений»

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

подпись

Р. В. Брежнев

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись

Ю. С. Петрова

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## График

выполнения выпускной квалификационной работы студентом направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии», профиля подготовки 09.03.02.04 «Информационные системы и технологии в медиаиндустрии».

График выполнения выпускной квалификационной работы приведен в таблице 1.

Таблица 1 — График выполнения этапов ВКР

Наименование этапа	Срок выполнения этапа	Результат выполнения этапов	Примечание руководителя (отметка о выполнении этапа)
Ознакомление с целью и задачами работы	7.03–13.03	Краткое эссе по теме ВКР	Выполнено
Сбор литературных источников	14.03–20.03	Список источников литературы	Выполнено
Анализ собранных литературных источников	21.03–27.03	Реферат о проблемно-предметной области	Выполнено
Уточнение и обоснование актуальности цели и задач ВКР	28.03–3.04	Окончательная формулировка цели и задач ВКР	Выполнено
Решение первой задачи ВКР	4.04–10.04	Доклад и презентация по первой задаче ВКР	Выполнено
Решение второй задачи ВКР	11.04–17.04	Доклад и презентация по второй задаче ВКР	Выполнено
Решение третьей задачи ВКР	18.04–24.04	Доклад и презентация по третьей задаче ВКР	Выполнено
Подготовка доклада и презентации по теме ВКР	25.04–08.05	Доклад с презентацией по теме ВКР	Выполнено
Компоновка отчета по результатам решения задач ВКР	09.05–31.05	Отчет по результатам решения задач ВКР	Выполнено
Первичный нормоконтроль (Н/К)	06.06	Пояснительная записка, презентация к ВКР	Выполнено
Предварительная защита результатов ВКР	07.06	Доклад и презентация о проделанной работе	Выполнено

Окончание таблицы 1

Вторичный нормоконтроль (Н/К)	10.06	Пояснительная записка, презентация к ВКР	Выполнено
Итоговый нормоконтроль (Н/К)	16.06	Пояснительная записка, презентация к ВКР	Выполнено
Защита ВКР	21.06	Доклад и презентация по результатам бакалаврской работы	Выполнено

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

подпись

Р. В. Брежнев

Студент гр. КИ14–11Б

\_\_\_\_\_

подпись

Ю. С. Петрова

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Обзор методов и программных комплексов с возможностью проведения атмосферной коррекции .....	6
1.1 Понятие атмосферной коррекции.....	6
1.2 Обзор существующих программных комплексов .....	7
1.2.1 Геоинформационная система QGIS .....	8
1.2.2 Программный комплекс ENVI.....	8
1.2.3 Программный комплекс SNAP .....	10
1.3 Методы проведения атмосферной коррекции .....	12
1.3.1 Метод DOS.....	12
1.3.2 Метод COST.....	15
1.4 Вывод по главе 1 .....	17
2 Проектирование модуля .....	18
2.1 Разработка программы.....	18
2.1.1 Выявление и анализ требований к программному продукту .....	18
2.1.2 Основной язык разработки.....	23
2.1.3 Диаграмма вариантов использования .....	24
2.1.4 Модель AS-IS и TO-BE.....	26
2.1.5 Блок-схема алгоритма работы метода DOS .....	28
2.1.6 Блок-схема алгоритма работы модуля атмосферной коррекции .....	29
2.2 Реализация программы .....	30
2.2.1 Экспериментальные данные .....	31
2.2.2 Результаты обработки экспериментальных данных.....	32
2.2.3 Экспериментальная апробация .....	34
2.3 Вывод по 2 главе .....	37
Заключение .....	38
Список использованных источников .....	39
Приложение А – В.....	42-50

## ВВЕДЕНИЕ

Технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) давно стали незаменимым инструментом изучения и постоянного мониторинга нашей планеты, благодаря которым находят повсеместное применение в отрасли народного хозяйства и позволяют за короткое время получить необходимые данные с больших площадей.

В сельскохозяйственной отрасли Красноярского края, на сегодняшний день, существует проблема мониторинга земель — отсутствие наиболее точного контроля посевных площадей, их состояния в заданные промежутки времени.

Для того, чтобы осуществлять контроль посевных площадей методами дистанционного зондирования необходимо разработать модуль атмосферной коррекции спутниковых изображений.

При использовании космических снимков приходится сталкиваться с такой проблемой, как влияние на снимок различных явлений атмосферы (водяной пар, метан, озон, молекулы аэрозоли, кислород, углекислый газ, частицы пыли). Для устранения указанных влияний осуществляют один из наиболее важных этапов предварительной обработки космических снимков — атмосферную коррекцию изображений.

Работа модуля атмосферной коррекции позволит нивелировать влияние различных эффектов атмосферы на космические снимки и тем самым получать более корректные значения рассчитываемых вегетационных индексов, используемых для оценки состояния посева.

Разработанный модуль будет представлен в виде встроенного компонента в структуру сервиса мониторинга посевов, предназначенного для конечных пользователей, на этапе предварительной обработке спутниковых изображений.

Это даст возможность конечному пользователю, являющемуся сельхозпроизводителем, не выезжать на объект для того, чтобы получить необходимую информацию и оценить состояние и качество выполняемых работ на посевных площадях.



Таким образом, целью выпускной квалификационной работы является устранение эффекта атмосферных явлений на спутниковых изображениях.

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) обзор методов и инструментов проведения атмосферной коррекции;
- 2) реализация алгоритма атмосферной коррекции для выполнения в автоматическом режиме;
- 3) экспериментальная апробация метода DOS с использованием разработанного программного модуля.

# **1 Обзор методов и программных комплексов с возможностью проведения атмосферной коррекции**

## **1.1 Понятие атмосферной коррекции**

Особенностью ДЗЗ из космоса является то, что излучение от земной поверхности прежде, чем будет зафиксировано датчиками, установленными на спутнике, должно пройти через атмосферу. Поэтому данные дистанционного зондирования также включают не только информацию о поверхности Земли, но и о состоянии атмосферы. Поэтому устранение влияния атмосферы является важным шагом предварительной обработки, особенно для тех, кто занимается количественным анализом поверхностного отражения.

Для устранения влияния состояния атмосферы необходимо знать такие параметры, как распределения аэрозолей, количество водяного пара и видимость сцены. Разрабатываются методы получения их из спектральных значений данных, поскольку прямое измерение этих атмосферных свойств доступно редко. Для того чтобы получить истинные коэффициенты отражения полученные коэффициенты используются для создания высокоточных моделей атмосферной коррекции [1].

Одним из этапов нормализации геоданных и является уменьшение влияния на снимок атмосферы и перевод значений радиации, дошедшей до сенсоров спутника, в значения реально отражённого от земли спектрального излучения солнечного света.

Во время предварительного этапа обработки атмосферная коррекция значений коэффициента отражения бывает полезна, потому что электромагнитная энергия, которая измеряется со спутника, зависит от атмосферных эффектов.

Влияние атмосферы на геоснимок проявляется в целом ряде факторов: прозрачность атмосферы, угол падения и отражения солнечных лучей, газовый фактор и «дымка» (рисунок 1).

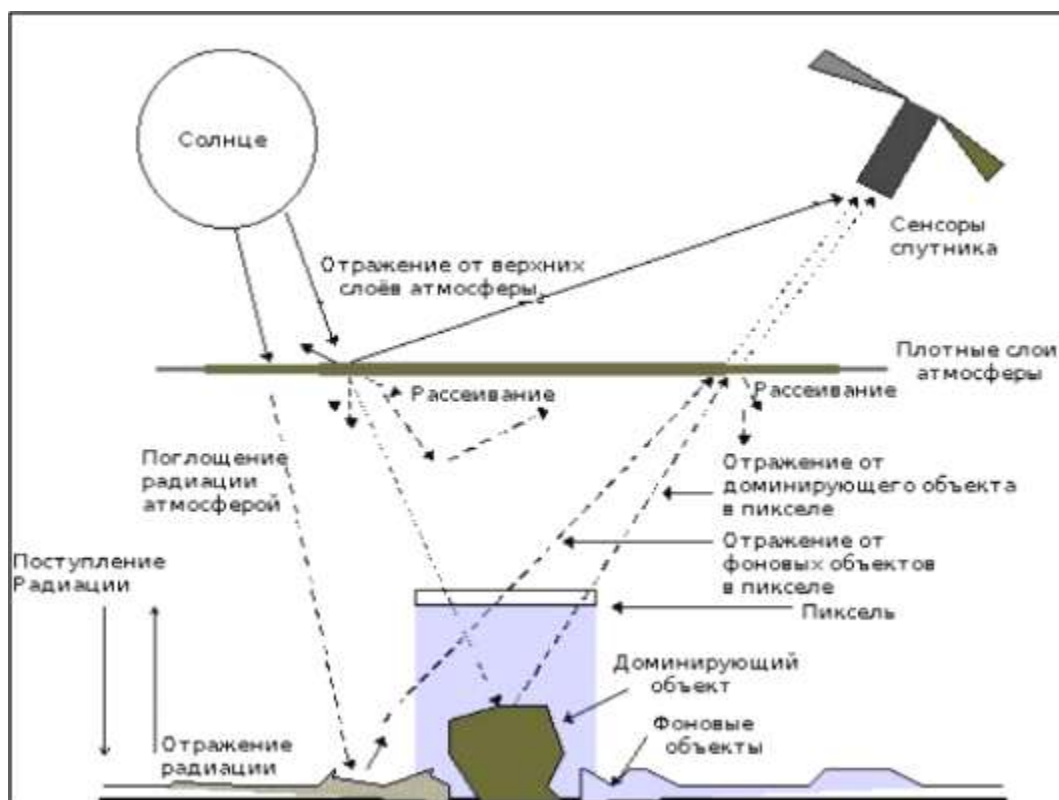


Рисунок 1 — Влияние атмосферы

## 1.2 Обзор существующих программных комплексов

Геоинформационные системы QGIS, ENVI, SNAP являются одними из самых популярных на сегодняшний день, с помощью которых имеется возможность провести атмосферную коррекцию спутниковых изображений. Обычно наибольшим авторитетом пользуется FLAASH, реализованный в ENVI. Хотелось бы уточнить, что проведение процедуры атмосферной коррекции не является гарантированным результатом получения достоверных данных об объектах. Откровенно говоря, никто не может обещать, что результат не окажется ещё более искаженным, чем исходный. Но всё же при аккуратной и внимательной настройке модуля атмосферной коррекции результат оказывается более корректным. Однако у всех ниже описанных программ есть один общий недостаток — расчет атмосферной коррекции в этих программах невозможно провести в автоматическом режиме, что требует привлечения экспертов в области обработки данных и является неприемлемым для указанного режима.

В связи с этим разработка модуля, который позволит выполнять атмосферную коррекцию в автоматическом режиме является актуальной.

### **1.2.1 Геоинформационная система QGIS**

Quantum GIS (QGIS) — это свободная кроссплатформенная геоинформационная система с открытым исходным кодом, позволяющая управлять геоданными, создавать, отображать, анализировать и редактировать их, а также создавать макеты карт и исследовать пространственные данные.

Геоинформационная система QGIS работает в Windows, Unix, Linux, Mac OSX, а также поддерживает множество растровых и векторных форматов, различные базы данных.

Плагины, модули составляют существенную и динамично развивающуюся долю функциональности QGIS. В настоящее время существует множество расширений для QGIS, которые дают дополнительные возможности визуализации и редактирования векторных и растровых данных, предоставляют графические интерфейсы для других ГИС и многие другие возможности.

Одним из таких расширений является бесплатный плагин — Semi-Automatic Classification Plugin. Этот плагин позволяет контролировать классифицирование изображений дистанционного зондирования, обеспечивая инструменты для загрузки, предварительную обработку и постобработку изображений, растровый расчет, а также предоставляет возможности для атмосферной коррекции с помощью метода DOS1.

### **1.2.2 Программный комплекс ENVI**

Программный комплекс ENVI предназначен для визуализации, обработки и анализа данных ДЗЗ из космоса, который включает в себя множество функциональных возможностей: коррекцию и визуализацию изображений, географическую (пространственную) привязку и ортотрансформирование, анализ растительности, классификацию изображений и многое другое.

В ENVI также оперативно обеспечивается поддержка форматов данных новых космических аппаратов, только появляющихся на орбите.

Как и в программе QGIS, в ENVI есть возможность провести атмосферную коррекцию спутниковых изображений. К тому же ENVI предлагает несколько модулей для её проведения, например, модуль FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), который позволяет выполнять атмосферную коррекцию снимков, полученных любыми мультиспектральными или гиперспектральными оптико-электронными системами [2].

Этот модуль, разработанный корпорацией Спектраль Sciences в сотрудничестве с Американской научно-исследовательской лабораторией Воздушных сил (AFRL) и Центром прикладных технологий спектральной информации (SITAC), позволяет выполнять следующие действия:

1) оценивать содержание аэрозолей и газа от данных изображения непосредственно или по значениям отражения в зонах 660 и 2100 нм;

2) выбирать спектральное разрешение MODTRAN, чтобы более точно настроить модель коррекции для решения поставленных задач;

MODTRAN — программа переноса излучений, которая используется для устранения влияния различных атмосферных явлений (водяного пара, кислорода, углекислого газа, метана, озона, рассеивания молекулами аэрозолей и частицами пыли). В MODTRAN реализовано несколько моделей атмосферы (лето в средних широтах, зима в средних широтах) и состава аэрозолей (для сельской местности, города, морских территорий), по которым рассчитывается уникальное решение для каждого снимка.

Для расчета скорректированных значений яркости используется формула (1):

$$L = \frac{A \cdot p}{1 - (p_e \cdot S)} + \frac{B \cdot p_e}{1 - (p_e \cdot S)} + L_a, \quad (1)$$

где  $L$  — значение яркости пикселя;

$p$  — коэффициент отражения для пикселя;

$p_e$  — средний коэффициент отражения для пикселя и его ближайшей области;

$L_a$  — яркость, рассеянная атмосферой назад;

$A, B$  — коэффициенты, которые зависят от атмосферных условий;

$S$  — сферическое альbedo атмосферы;

3) изменять степень очистки спектральных данных, чтобы найти тот уровень, который сохраняет особенности и подавляет артефакты;

4) выполнять коррекцию эффекта смежности, который происходит из-за смешивания сигналов яркостей соседних пикселей;

5) выбирать одну из моделей многократного рассеяния, величина которого зависит от газа и аэрозолей;

В предыдущих версиях программного комплекса ENVI инструменты атмосферной коррекции изображений содержались в модуле FLAASH. Однако, в новой версии появился набор инструментов атмосферной коррекции — Quick Atmospheric Correction (QUAC). QUAC отличается от модуля FLAASH тем, что не требует уточнения модели атмосферы и позволяет вычислять параметры коррекции изображения только исходя из информации, содержащейся на снимке. В основе работы QUAC лежит улучшенная модель атмосферы, реализованная в программе MODTRAN. Инструменты FLAASH и QUAC теперь объединены в новый дополнительный модуль — Atmospheric Correction Module [8].

Однако, также, как и в модуле Semi-Automatic Classification Plugin предназначенном для QGIS, в Atmospheric Correction Module есть такой недостаток, как невозможность производить атмосферную коррекцию автоматически.

### 1.2.3 Программный комплекс SNAP

Архитектура Sentinel Application Platform (SNAP) идеально подходит для обработки и анализа космических снимков за счет следующих технологических

новшеств: расширяемость, переносимость, модульная клиентская платформа и множество других.

Основными характеристиками SNAP являются:

- общая архитектура для всех наборов инструментов;
- быстрое отображение изображений и навигация изображений с гигапикселей;
- графическая обработка (GPF) для создания пользовательских цепочек обработки;
- расширенное управление уровнями позволяет добавлять и обрабатывать новые наложения, такие как изображения других полос, изображения с серверов WMS или шейп-файлы ESRI;
- простое определение битовой маски и наложение;
- гибкая арифметика диапазона с использованием произвольных математических выражений;
- точная репроцессия и орто-исправление для общих картографических проекций;
- геокодирование и выпрямление с использованием наземных контрольных точек;
- автоматическая загрузка SRTM DEM и выбор плитки;
- библиотека продуктов для эффективного сканирования и каталогизации больших архивов;
- поддержка многопоточных и многоядерных процессоров;
- интегрированная визуализация WorldWind.

Программный комплекс SNAP позволяет выполнять атмосферную коррекцию спутниковых изображений. На сегодняшний день также теперь доступно программное обеспечение для коррекции атмосферы — iCOR (ранее известное как OPERA), через ESA SNAP для атмосферной коррекции данных Sentinel-2 и Landsat-8 [7].

Внедряя плагин iCOR в SNAP, исследователи могут тестировать его для своих собственных областей исследования и экспериментировать с различными функциональными возможностями, свободно загружая плагин в программу.

Плагин iCOR работает так же хорошо, как и на водных объектах (прибрежные, переходные и внутренние воды). Инструмент определяет, является ли пиксель водой или землей, и применяет специальную коррекцию. Плагин работает без взаимодействия с пользователем, и все входные параметры могут быть извлечены из самого изображения.

Дополнительный модуль SIMEC является частью iCOR, и реализация SNAP позволяет включать и выключать его. В частности, внутренние воды и эстуарии могут серьезно пострадать от этих эффектов, и настоятельно рекомендуется исправление.

Реализация iCOR в SNAP корректирует спутниковые снимки Sentinel-2 и Landsat-8, и легко настраивается через пользовательский интерфейс SNAP. Он работает на платформах Linux и Windows.

### **1.3 Методы проведения атмосферной коррекции**

Существует несколько методов, которые можно применить для создания модуля атмосферной коррекции спутниковых изображений. В данной работе проведен обзор таких методов, как DOS и COST.

Выбранный метод DOS для создания модуля разработан еще в 1996 году для данных Landsat ETM+, но основываясь на том, что спектральные диапазоны каналов Landsat ETM+ и OLI близки по значениям, то данный метод можно использовать и для полученных данных Landsat-8.

#### **1.3.1 Метод DOS**

Метод вычитания темного объекта (DOS) — это группа атмосферных поправок для космических снимков. Chavez объясняет, что «основное предположение состоит в том, что в пределах изображения некоторые пиксели



находятся в полной тени и их излучение, полученное на спутнике, обусловлено атмосферным рассеянием (рассеиванием расстояния). Это предположение рассматривается в сочетании с тем, что очень немногие цели на поверхности Земли являются абсолютно черными, так, предполагается, что один процент минимального отражения лучше, чем ноль процентов» [23].

В настоящее время существует множество методов и инструментов, которые можно применить для проведения атмосферной коррекции спутниковых изображений. В данной работе нормализация данных геоснимков проводится методом Dark Object Subtraction (DOS), впервые представленным Chavez в 1996 году и усовершенствованным в 1998 [21, 22].

Суть метода заключается в нахождении яркости 1 %-темного объекта геоснимка с последующей коррекцией минимума значений каждого пикселя изображения относительно спектральной яркости найденного объекта.

Поиск 1 %-темного объекта (Dark Object) производится вычислительным методом. Вычислительный метод подразумевает, что суммарная яркость (от 0 до  $n$ ) 1 %-темного объекта будет соответствовать 0,01 % от суммарной яркости всех пикселей геоснимка.

После определения яркости Dark Object (в дальнейших вычислениях —  $DN_{min}$ ), производится атмосферная коррекция по методу DOS в несколько этапов:

1) вычисляется значение радиации, соответствующее значению яркости 1 %-темного объекта по формуле (2):

$$L\lambda_{min} = DN_{min} \cdot Gain\lambda + Bias\lambda , \quad (2)$$

где  $L\lambda_{min}$  — спектральная радиация для 1 %-тёмного объекта;

$DN_{min}$  — значения яркости пикселя 1 %-тёмного объекта;

$Gain\lambda$  — усиление значения радиации относительно яркости 1 %-темного объекта;

$Bais\lambda$  — смещение значения радиации относительно яркости 1 %-темного объекта.

2) рассчитывается коэффициент влияния угла падения и отражения солнечных лучей для 1 %-тёмного объекта по формуле (3):

$$L_{1\%} = \frac{0,01 \cdot \cos^2 \theta \cdot T_z \cdot E_0}{\pi \cdot d^2} , \quad (3)$$

где  $L_{1\%}$  — коэффициент влияния угла падения и отражения солнечных лучей для 1 %-темного объекта;

$d$  — расстояние от солнца до земли в астрономических единицах в конкретный день съёмки сцены на конкретной местности;

$E_0$  — коэффициент солнечного внеатмосферного спектрального излучения;

$\theta$  — зенитное расстояние для солнца в радианах;

$T_z$  — мера прохождения излучения от солнца до земли.

3) Вычисляется значение атмосферной «дымки» по формуле (4):

$$L\lambda haze = L\lambda min - L_{1\%} , \quad (4)$$

где  $L\lambda haze$  — значение атмосферной «дымки»;

$L\lambda min$  — то же, что и в формуле (2);

$L_{1\%}$  — то же, что и в формуле (3).

4) рассчитываются атмосферно-скорректированные значения отражённой солнечной радиации по формуле (5):

$$p\lambda = \frac{\pi \cdot (L\lambda - L\lambda haze) \cdot d^2}{E_0 \cdot \cos \theta \cdot T_z} , \quad (5)$$

где  $p\lambda$  — атмосферно-скорректированные значения отражённой солнечной радиации;

$L\lambda$  — значения радиации, пришедшей на сенсор спутника;

$d$  — то же, что и в формуле (3);

$E_0$  — то же, что и в формуле (3);

$\theta$  — то же, что и в формуле (3);

$T_z$  — то же, что и в формуле (3).

### 1.3.2 Метод COST

Атмосферную коррекцию спутниковых изображений также можно провести с помощью метода COST, который разработан на основе алгоритма, разработанного Chavez в 1988 году и в дальнейшем усовершенствован в 1996 году.

В данном методе значения рассчитываются по формулам:

1) существуют формулы перевода данных из DN (digital numbers — исходные значения при получении снимка) в реальные значения приходящего излучения. Использовать истинные значения излучения не всегда обязательно, вполне достаточно значений масштабированных значений DN. Однако, когда в операции используются одновременно данные из нескольких различных источников, то разные камеры калибруются по-разному и необходимо свести эти данные полученные с них к единому знаменателю. Это достигается за счёт перевода данных из DN в реальные значения приходящего излучения с помощью формулы (6):

$$L_{\lambda} = \frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \cdot (Q_{cal} - Q_{calmin}) \cdot L_{min\lambda} \quad , \quad (6)$$

где  $L_{\lambda}$  — количество приходящего излучения;

$L_{min}$  — количество приходящего излучения которое после масштабирования становится  $Q_{min}$ ;

$L_{max}$  — количество приходящего излучения которое после масштабирования становится  $Q_{max}$ ;

$Q_{calmin}$  — минимальное калиброванное значение DN (0 или 1);

$Q_{calmax}$  — максимальное калиброванное значение DN (255);

$Q_{cal}$  — калиброванное значение (DN).

2) рассчитать теоретическое значение излучения на сенсоре «темного объекта» для каждого канала можно по формуле (7):

$$L = \frac{0,01 \cdot ESUN \cdot \cos^2 Q}{\pi \cdot d^2}, \quad (7)$$

где  $d$  — расстояние от Земли до Солнца в точке получения снимка на момент съемки;

$Q$  — зенитное расстояние;

$ESUN$  — Mean Solar Exoatmospheric Spectral Irradiance.

3) рассчитать константу газовой коррекции для каждого канала можно по формуле (8):

$$L_{haze} = L_{\lambda} - L, \quad (8)$$

где  $L_{\lambda}$  — значения DN для каждого канала сконвертированные в at satellite-radiance;

$L$  — значения теоретическое значение излучения на сенсоре «темного объекта» для каждого канала.

4) последним действием производится расчёт атмосферно-скорректированных значений по формуле (9):

$$V_{value} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot (DN - L_{haze})}{ESUN \cdot \cos^2 Q}, \quad (9)$$

где  $L_{haze}$  — константа газовой коррекции для каждого канала;

$d$  — то же, что и в формуле (7);

$DN$  — значение яркости каждого пикселя снимка;

$Q$  — то же, что и в формуле (7);

$ESUN$  — то же, что и в формуле (7).

## 1.4 Вывод по главе 1

В данной главе проведен обзор методов и программных комплексов с возможностью проведения атмосферной коррекции.

При разработке модуля акцентировано внимание на двух ранее известных методах, которые можно применить для проведения атмосферной коррекции — метод DOS и COST.

Для разработки модуля атмосферной коррекции выбран метод DOS, так как он ранее уже был адаптирован под данные спутника Landsat-8, а метод COST для данных Landsat/ETM+.

Также в главе описаны одни из самых востребованных, на сегодняшний день, геоинформационные системы — QGIS, SNAP и ENVI, с помощью которых имеется возможность провести атмосферную коррекцию спутниковых изображений. Однако, как и говорилось ранее, у всех существующих программный комплексов есть один общий недостаток — расчет атмосферной коррекции в этих программах возможно провести только в ручном режиме, что требует наличие эксперта в области обработки данных.

В связи с этим разработка модуля атмосферной коррекции, который позволит выполнять атмосферную коррекцию в автоматическом режиме является актуальной.

## **2 Проектирование модуля**

### **2.1 Разработка программы**

Для того, чтобы разработать модуль атмосферной коррекции решено использовать такой язык программирования, как Python, который, на сегодняшний день, активно используется в области информационных технологий. Также при разработке модуля составлена обобщенная диаграмма вариантов использования, в которой отображены функции первичной обработки данных ДЗЗ, уже существующие в системе агромониторинга, в которую, в дальнейшем, планируется встроить разработанный модуль атмосферной коррекции. Помимо диаграммы вариантов использования составлена блок-схема алгоритма работы метода DOS, и блок-схема алгоритма работы модуля атмосферной коррекции.

#### **2.1.1 Выявление и анализ требований к программному продукту**

Наименование программы: модуль атмосферной коррекции спутниковых изображений.

Область применения данной программы — система агромониторинга Красноярского края.

Модуль атмосферной коррекции предназначен для обработки спутниковых изображений, полученных с космического аппарата Landsat-8.

Основанием для проведения разработки является задание на выпускную квалификационную работу на тему «Разработка программного модуля атмосферной коррекции спутниковых изображений».

Функциональным назначением модуля атмосферной коррекции является предоставление пользователям возможности получения спутниковых снимков с проведенной атмосферной коррекцией в автоматическом режиме для получения более корректных значений вегетационных индексов.

Модуль атмосферной коррекции должен обеспечивать возможность выполнения обработки космических снимков, полученных со спутника Landsat-8, в автоматическом режиме, для дальнейшего использования снимков пользователями системы агромониторинга.

Входными данными модуля является спутниковое изображение Landsat-8. Выходные данные представляют собой обработанное спутниковое изображение Landsat-8 с помощью разработанного модуля.

Объект автоматизации: Система агромониторинга института космических и информационных технологий.

В автоматическом режиме модуль атмосферной коррекции спутниковых изображений выполняет задачи, соответствующие целям создания системы.

Требования к структуре и функционированию системы:

- система должна быть централизованной;
- данные для обработки спутниковых изображений хранятся в файле метаданных. Основной функцией разрабатываемого модуля является обработка снимков.

Надежное функционирование программы должно быть обеспечено выполнением совокупности организационно-технических мероприятий:

- наличие бесперебойного подключения к сети Интернет;
- организация бесперебойного функционирования сервера системы;
- выполнением требований ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 «Национальный стандарт Российской Федерации. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств».

Требования по стандартизации и унификации:

Разработка модуля атмосферной коррекции должна осуществляться с использованием стандартных методологий функционального моделирования: IDEF0 и информационного моделирования IE и IDEF1X в рамках рекомендаций

по стандартизации Р50.1.028-2001 «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции».

Требования к функциям (задачам), выполняемым системой:

Разрабатываемый модуль позволяет проводить атмосферную коррекцию космических снимков со спутника Landsat-8.

Модуль должен автоматически распознавать тип входного набора изображений, а именно, к какому спутнику и сенсору принадлежит входной набор.

В зависимости от определенного сенсора модуль должен автоматически интерпретировать входные метаданные для извлечения параметров атмосферной коррекции.

Требования к программному обеспечению:

- интерпретатор Python — Python GUI, IDLE и другие. Интерпретатором называется модуль, который исполняет другие программы. Интерпретатор Python читает программу и выполняет составляющие ее инструкции;

- библиотека обработки геопространственных данных — GDAL. Библиотека для чтения и записи растровых и векторных гео-пространственных форматов данных, предоставляющая вызывающим приложениям единую абстрактную модель данных для всех поддерживаемых форматов;

- numPy — библиотека с открытым исходным кодом для языка программирования Python. В возможности данной библиотеки входит поддержка высокоуровневых поддержка высокоуровневых математических функций, предназначенных для работы с многомерными массивами;

- math — модуль, предоставляющий обширный функционал для работы с числами. Модуль всегда доступен и обеспечивает доступ к математическим функциям;

- struct — модуль, который служит для конвертирования данных из строк байтов и типами данных языка Python и может применяться при работе с форматами бинарных файлов и коммуникационными протоколами;



– xml.dom — независящий от платформы и языка программный интерфейс, позволяющий программам и скриптам получить доступ к содержимому HTML, XHTML и XML-документов, а также изменять содержимое, структуру и оформление таких документов;

– tarfile — модуль, позволяющий считывать и записывать дегтя архивы, в том числе с использованием GZIP или bz2 сжатия;

– zipfile — модуль, предназначенный для чтения и записи.

Для того, чтобы более наглядно представить, какие библиотеки использует разработанный модуль атмосферной коррекции, составлена диаграмма компонентов (рисунок 2).

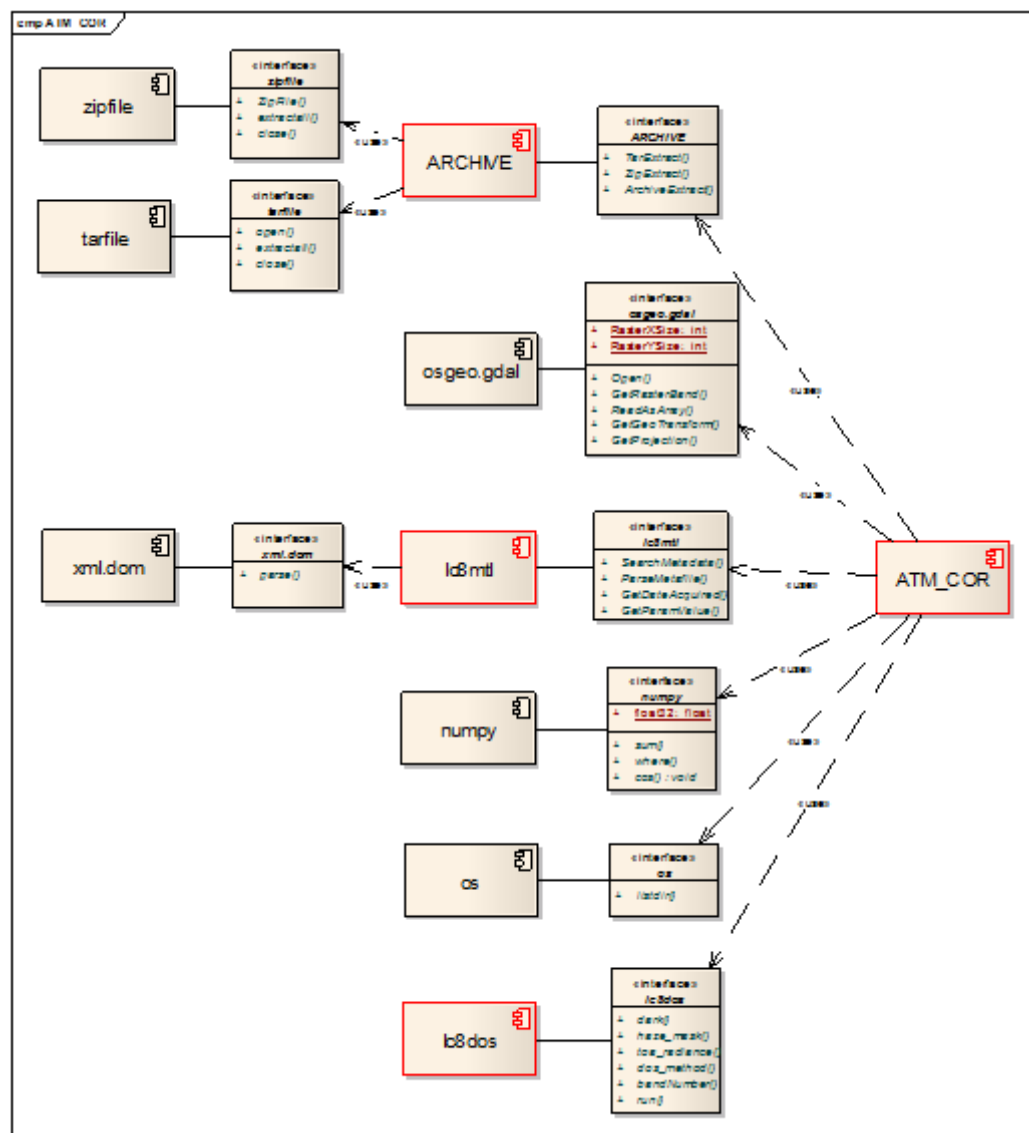


Рисунок 2 — Модель взаимодействия компонентов модуля атмосферной коррекции

Требования к информационному обеспечению:

Применяются данные свободно распространяемой программы Landsat-8. Основные технические характеристики съемочной аппаратуры представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Основные технические характеристики съемочной аппаратуры

Сенсор	OLI	OLI	OLI	TIRS
Режим съемки	VNIR	SWIR	PAN	TIR
Спектральный диапазон, мкм	0,43–0,45 (фиолетовый или coastal), 0,45–0,52 (синий), 0,53–0,60 (зеленый), 0,63–0,68 (красный), 0,85–0,89 (ближний ИК)	1,36–1,39 (Cirrus), 1,56–1,66 (SWIR-1), 2,10–2,30 (SWIR-2)	0,50–0,68	10,40–12,50
Пространственное разрешение (в надире), м	30	30	15	100

Радиометрическое разрешение, бит на пиксель: 12.

Требования к информационной совместимости со смежными системами:

- система не должна быть закрытой для смежных систем и должна поддерживать возможность экспорта данных в смежные системы;
- система должна обеспечить возможность загрузки данных, получаемых от смежной.

Требования к лингвистическому обеспечению:

При реализации системы применяется высокоуровневый язык программирования — Python.

Требования к техническому обеспечению представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Основные технические характеристики съемочной аппаратуры

№	Параметр/Характеристика	Рекомендуемое значение
1	Процессор	Процессор x64: AMD Opteron, AMD Athlon 64, Intel Xeon с поддержкой Intel EM64T. Процессор x86: процессор, совместимый с Pentium III или выше
2	Оперативная память (RAM)	Минимальный размер: 512 МБ
3	Устройства ввода/вывода	Компьютерная мышь, монитор, клавиатура

### 2.1.2 Основной язык разработки

Для разработки программного модуля атмосферной коррекции в качестве основного языка выбран высокоуровневый язык программирования —Python.

Данный язык активно развивается и пользуется большой популярностью, потому что чрезвычайно прост, очень гибок и содержит небольшое число ключевых слов, при сравнении с другими языками программирования.

Python имеет ряд преимуществ и недостатков:

- интерпретатор Python реализован практически на всех платформах и операционных системах. Программа, написанная на данном языке, будет функционировать одинаково вне зависимости от того, в какой операционной системе она запущена;

- python является интерпретируемым языком программирования. Это позволяет упростить отладку программы, однако, с другой стороны, из-за его интерпретируемости скорость выполнения программ сравнительно снижается;

- поддержка модульности. Возможность написать свой модуль и легко использовать его в других программах;

- расширяемость языка. Возможность совершенствования языка всеми заинтересованными программистами;

- данный язык имеет очень понятной и лаконичный синтаксис, что способствует ясному отображению кода. Благодаря этому, при грамотном использовании, можно создать код, который, в случае необходимости, не составит больших усилий для программиста для того, чтобы разобраться в нем;
- одно из достоинств — наличие большого числа подключаемых к программе модулей, обеспечивающих различные дополнительные возможности, как входящих в стандартную поставку Python, так и в других;
- динамическая типизация. Для разработчика нет необходимости указывать тип переменной при объявлении, что очень удобно при разработке;
- программы на Python разрабатываются в среднем в два раза быстрее, чем на компилируемых языках (C, C++, Pascal).

### **2.1.3 Диаграмма вариантов использования**

Система представляется в виде множества актеров или сущностей, взаимодействующих с системой с помощью вариантов использования. Действующим лицом или актером называется любая сущность, взаимодействующая с системой извне. Это может быть программа или человек, техническое устройство, либо любая другая система, которая может служить источником воздействия на моделируемую систему так, как определит сам разработчик. Вариант использования служит для описания сервисов, которые система предоставляет актеру. Можно дополнять диаграмму вариантов использования пояснительным текстом, чтобы разъяснить смысл или семантику составляющих ее компонентов.

Актер представляет собой систему, личность или организацию, которая взаимодействует с информационной системой и использует ее функциональные возможности для достижения определенных целей. Также различают внутреннего и внешнего исполнителя. Внешний исполнитель использует или используется системой, т. е. порождает прецеденты деятельности, а внутренний исполнителем обеспечивает реализацию прецедентов деятельности внутри

системы. На диаграммах актер изображается в виде фигуры человечка, под которой записывается имя. Более одного актера могут взаимодействовать с одним и тем же множеством вариантов использования идентичным образом.

Прецедент — это законченная последовательность действий, инициированная внешним объектом (системой или личностью), которая взаимодействует с информационной системой и получает в результате сообщение от информационной системы. На диаграмме изображается овалом с надписью, отражающей содержание действия.

Также между элементами диаграммы вариантов использования существуют несколько видов отношений:

- отношение ассоциации;
- отношение обобщения;
- отношение расширения;
- отношение включения.

В рамках данной работы построена обобщенная диаграмма вариантов использования функций первичной обработки ДЗЗ.

При построении диаграммы используется отношение включения («include»). Актером является система агромониторинга, которая предоставляет функции для первичной обработки данных:

- географическая привязка;
- радиометрическая коррекция;
- геометрическая коррекция;
- атмосферная коррекция.

При построении диаграммы вариантов использования хотелось показать, что в системе агромониторинга, в которую будет встроен функционирующий модуль атмосферной коррекции, также, на данный момент, уже существуют и другие функции предварительной обработки космических снимков. Разработанный модуль атмосферной коррекции будет предоставлять

пользователю больше возможностей для обработки снимков, что также улучшит возможности мониторинга за состоянием сельскохозяйственных культур.

Диаграмма вариантов использования представлена на рисунке 3.

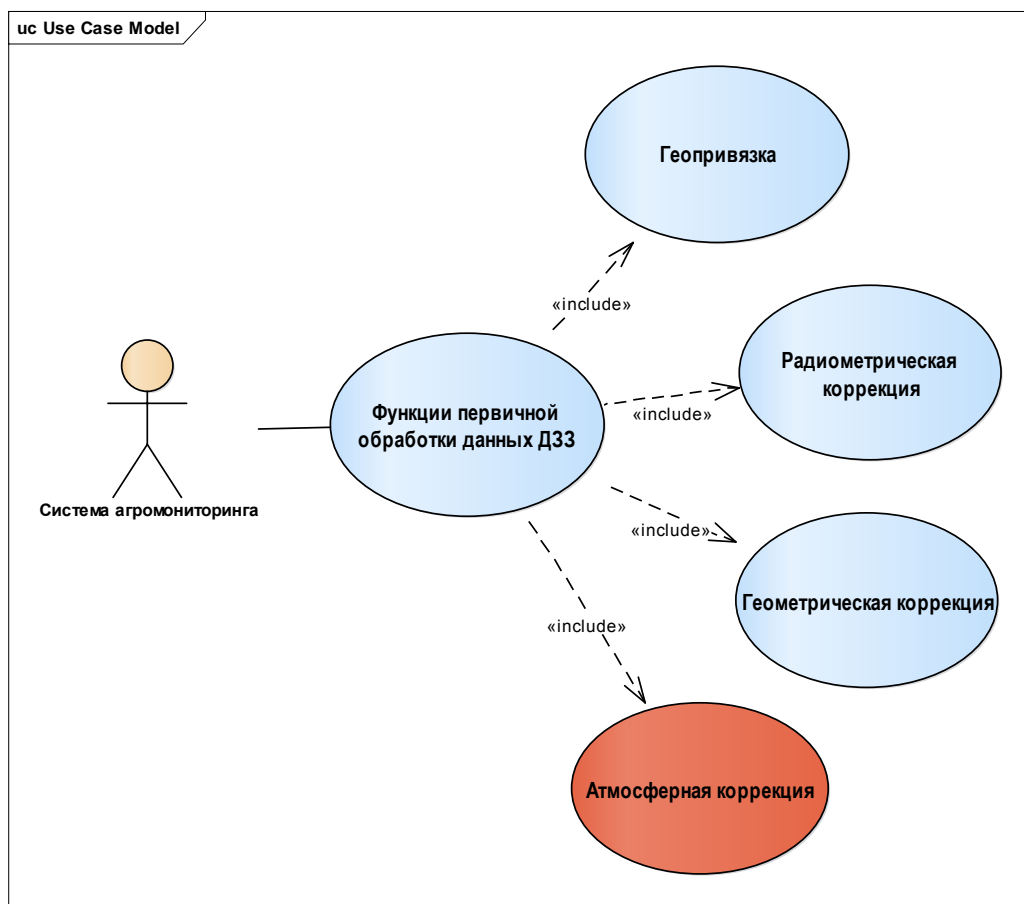


Рисунок 3 — Обобщенная модель вариантов использования функций первичной обработки данных ДЗЗ

#### 2.1.4 Модель AS-IS и TO-BE

Модель AS-IS — модель «как есть», т. е. модель уже существующего процесса или функции. Построение функциональной модели AS-IS позволяет четко показать, какие процессы или функции существуют на данный момент, где находятся наиболее слабые места и насколько глубоким изменениям подвергнется существующая структура организации процесса.

Модель TO-BE — модель «как должно быть». Данная модель служит для того чтобы показать изменения, произошедшие в структуре организации

процесса, после того, как были устранены недостатки, либо произошла модификация каких-либо процессов.

Существующая схема обработки данных включает в себя основные этапы:

- получение данных;
- геометрическая коррекция;
- радиометрическая коррекция;
- геопривязка.

Но в рамках расчета вегетационных индексов в систему агромониторинга необходимо добавить дополнительную обработку — атмосферную коррекцию.

Построенная модель AS-IS отображает существующую схему обработки данных в системе агромониторинга (рисунок 4).

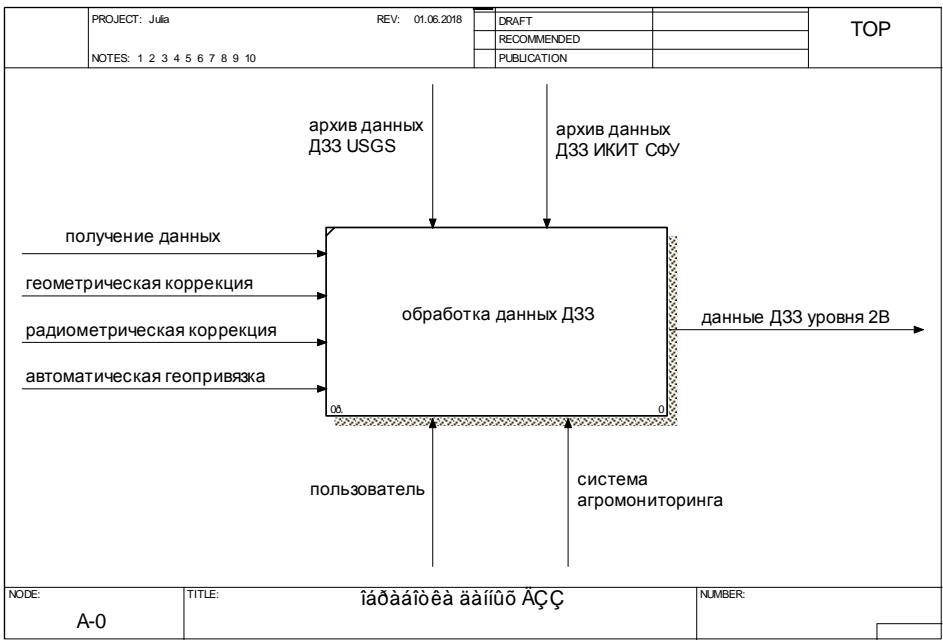


Рисунок 4 — Функционирующая модель AS-IS

Модель TO-BE, построенная на основе модель AS-IS, отображает изменения, произошедшие в структуре организации процесса. В рамках данной работы модель TO-BE показывает, что в систему агромониторинга будет встроен разработанный модуль атмосферной коррекции, благодаря которому появляется еще одна функция первичной обработки данных ДЗЗ (рисунок 5).

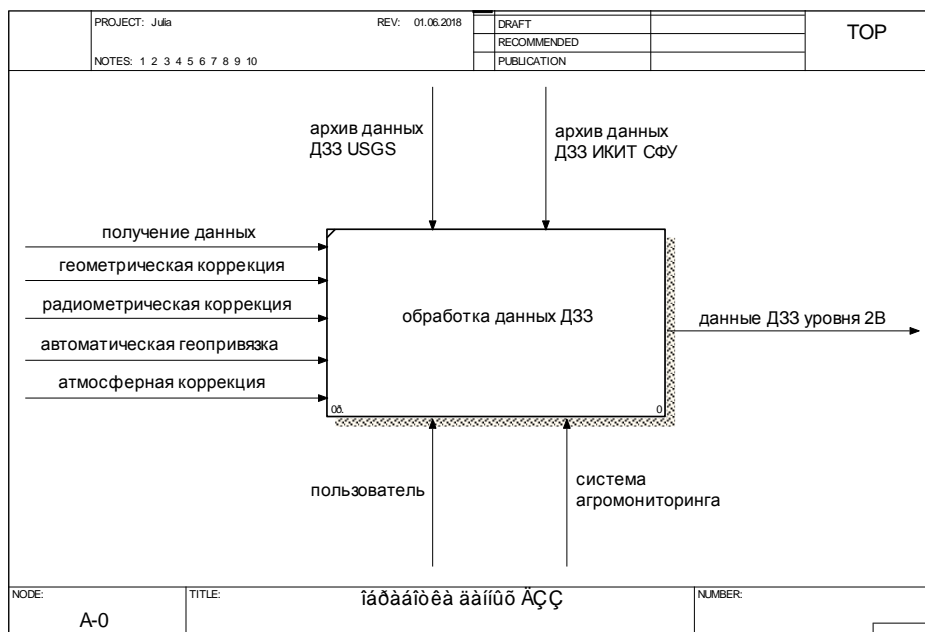


Рисунок 5 — Функционирующая модель TO-BE

### 2.1.5 Блок-схема алгоритма работы метода DOS

Блок-схема — графическое представление алгоритма в виде связанных между собой функциональных блоков с помощью линий, указывающими направление последовательности. Блоки выполняют различные назначения, такие как ввод, вывод, начало либо конец алгоритма, вызов функции и другие. Они изображаются в виде графического символа, каждый из которых соответствует одному отдельному шагу алгоритма. Внутри блока дается описание соответствующего действия.

Потоки данных или потоки управления в схемах показываются линиями. Направление потока слева направо и сверху вниз считается стандартным. Когда же необходимо внести большую ясность в схему, на линиях используются стрелки. Если поток имеет направление, отличное от стандартного, стрелки должны указывать это направление.

Умение быстро и правильно составлять блок-схемы является фундаментом, основой программирования. Правила выполнения регламентируются ГОСТ 19.701-90 ЕСПД «Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения» [5].



После того, как определено значение яркости для 1 %-темного объекта, производится атмосферная коррекция по методу DOS в несколько этапов:

- вычисляется значение радиации ( $L\lambda_{min}$ ), соответствующее значению яркости 1 %-темного объекта;
- рассчитывается коэффициент влияния угла падения и отражения солнечных лучей для 1 %-тёмного объекта ( $L_{1\%}$ );
- находится значение атмосферной «дымки» ( $L\lambda_{haze}$ );
- рассчитывается атмосферно-скорректированные значения отражённой солнечной радиации ( $p\lambda$ ).

Описанные этапы отражены на блок-схеме, представленной на рисунке 6.

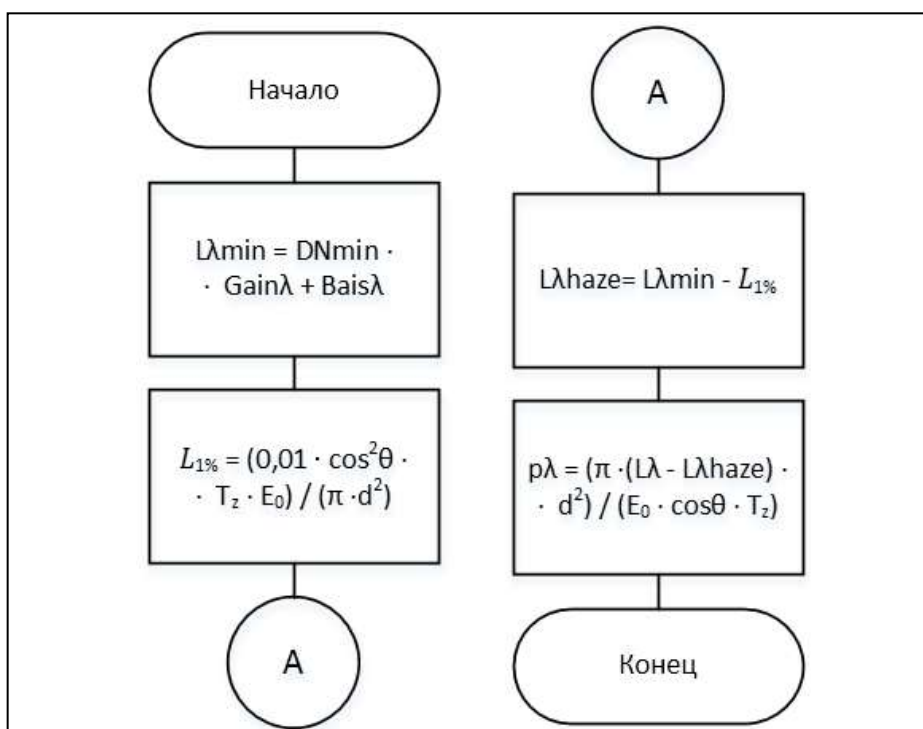


Рисунок 6 — Блок-схема алгоритма работы метода DOS

### 2.1.6 Блок-схема алгоритма работы модуля атмосферной коррекции

Алгоритм работы модуля атмосферной коррекции:

- загрузка данных Landsat-8;
- преобразование канала изображения в двумерный массив;
- нахождение 1 %-темного объекта;

- поиск параметров в файле метаданных;
- расчет необходимых параметров для проведения атмосферной коррекции методом DOS;
- преобразование двумерного массива атмосферно-скорректированных значений в изображение.

Блок-схема алгоритма работы модуля атмосферной коррекции расширяет ранее описанную блок-схему алгоритма работы метода DOS и представлена на рисунке 7.

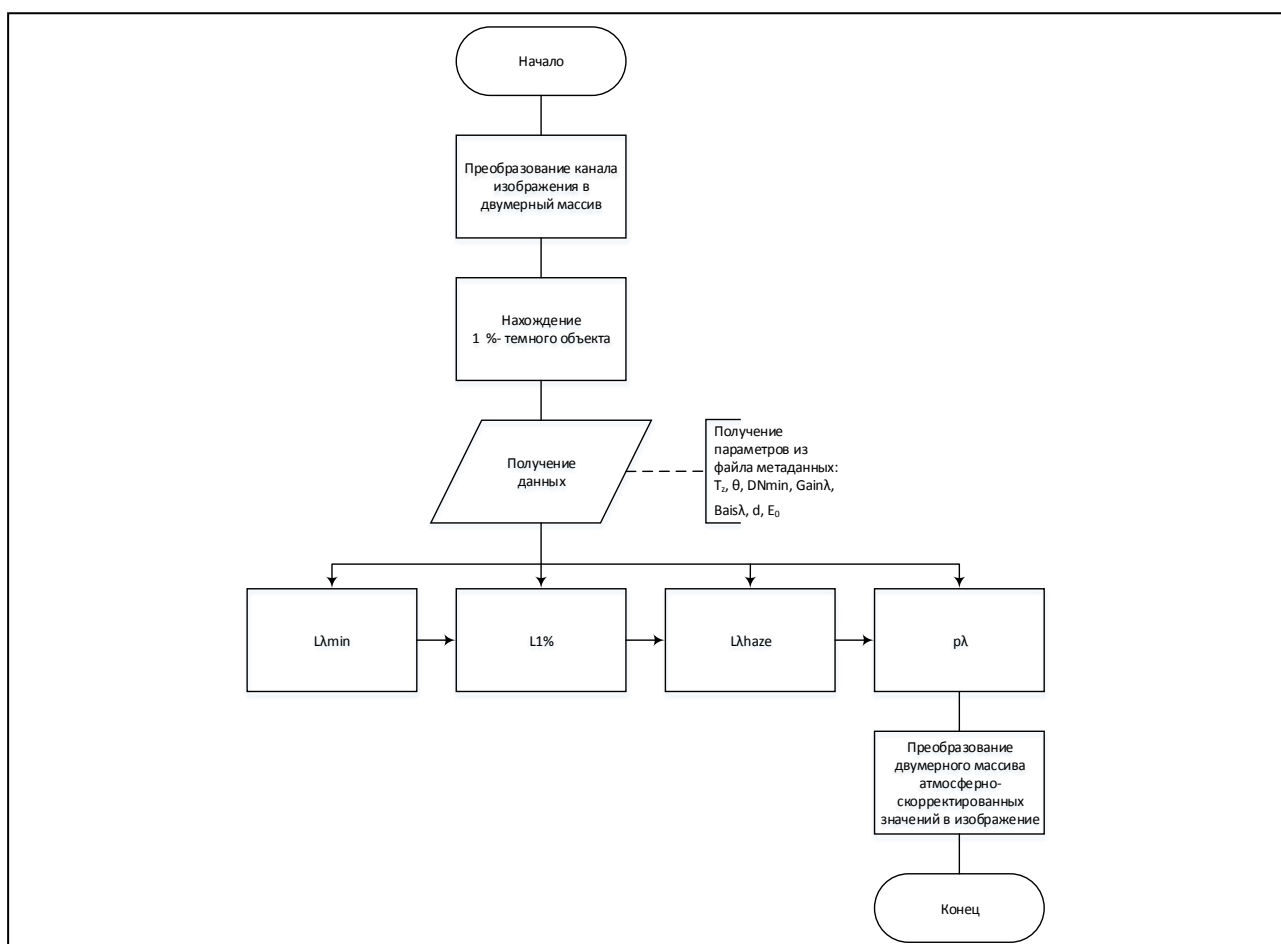


Рисунок 7 — Блок-схема алгоритма работы модуля атмосферной коррекции

## 2.2 Реализация программы

С помощью разработанного модуля атмосферной коррекции обработаны представленные ниже экспериментальные данные и результаты расчета NDVI на спутниковых снимках Landsat-8, для того, чтобы показать разницу полученных индексов на обработанных и необработанных снимках.

### 2.2.1 Экспериментальные данные

Для проведения атмосферной коррекции с помощью разработанного модуля и экспериментального исследования, где будут сравниваться результаты расчета вегетационных индексов обработанного и необработанного космического снимка, использован спутниковый снимок Landsat-8 без проведения атмосферной коррекции с датой съемки 2017-08-07 и пространственным разрешением 30 метров. Данный снимок представлен на рисунке 8.

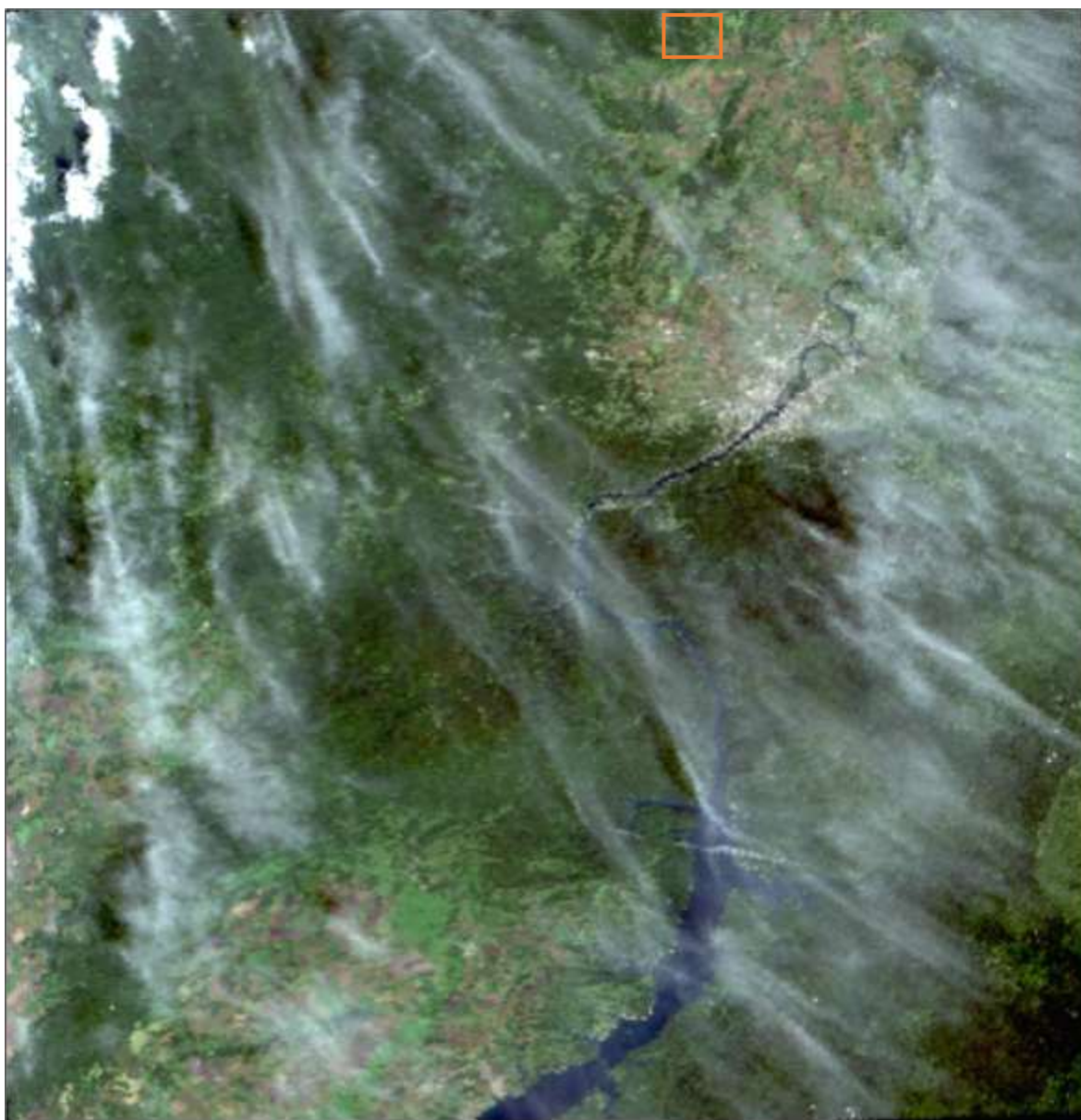


Рисунок 8 — Исходное изображение без атмосферной коррекции

На рисунке 9 представлен фрагмент исходного изображения.



Рисунок 9 — Фрагмент исходного изображения (регион интереса)

### **2.2.2 Результаты обработки экспериментальных данных**

В результате, на ранее представленных рисунках 8 и 9, с помощью разработанного модуля проведена атмосферная коррекция спутникового изображения Landsat-8.

Снимок с проведенной атмосферной коррекцией представлен на рисунке 10.





Рисунок 10 — Изображение, полученное в результате проведения атмосферной коррекции

На рисунке 11 представлен фрагмент изображения, полученный в результате проведения атмосферной коррекции.



Рисунок 11 — Фрагмент изображения (регион интереса), полученный в результате проведения атмосферной коррекции

### **2.2.3 Экспериментальная апробация**

Исключение влияния атмосферы на космический снимок позволяет добиться наиболее точных показаний вегетационных индексов (NDVI), используемых для оценки состояния посева. Для того, чтобы продемонстрировать это наглядно проведен расчет значений NDVI на необработанном снимке, представленном ранее на рисунке 8 и 9, и на снимке с проведенной атмосферной коррекции с помощью разработанного модуля, представленным ранее на рисунке 10 и 11.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) — нормализованный относительный индекс растительности, чаще называемый «вегетационный индекс». Является простым количественным показателем количества фотосинтетически активной биомассы. Один из самых используемых и

распространенных индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова [6].

Для вычисления NDVI нужны снимки в красном канале, а также в ближнем инфракрасном канале. Вегетационный индекс вычисляется по формуле (10):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (10)$$

где NIR — значение в спектральном канале, соответствующему ближнему инфракрасному диапазону с длиной волны 0,76–1 мкм;

RED — значение в спектральном канале, соответствующему видимой части спектра с длиной волны от 0,6–0,76 мкм (красной части спектра);

NDVI — нормализованный относительный индекс растительности.

Согласно этой формуле, плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Для отображения индекса NDVI используется стандартизованная непрерывная градиентная или дискретная шкала, показывающая значения индекса в диапазоне от 1 (густая, интенсивная растительность) до -1 (бетон, либо асфальт и т. д.). Дискретная шкала NDVI представлена на рисунке 12.



Рисунок 12 — Дискретная шкала NDVI

Значение NDVI для открытой почвы должно лежать в интервале: 0,025–0,1 [11].

Для расчета NDVI использовался тот же снимок, что был представлен ранее на рисунках 8–11. Снимок с рассчитанным NDVI без проведения



атмосферной коррекции и представленной легендой можно увидеть на рисунке 13.

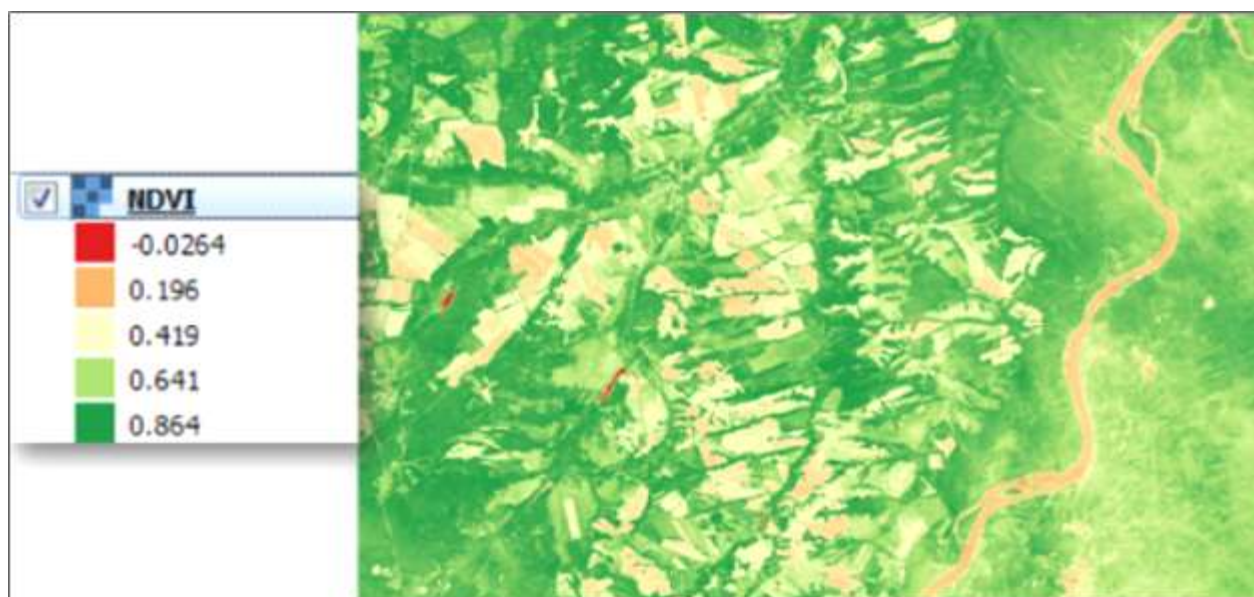


Рисунок 13 — Расчет индекса NDVI на изображении без проведения атмосферной коррекции в увеличенном масштабе

На рисунке 14 представлен снимок с расчетом индекса NDVI с проведением атмосферной коррекции в увеличенном масштабе.



Рисунок 14 — Расчет индекса NDVI на изображении с проведением атмосферной коррекции в увеличенном масштабе



Для расчета индекса NDVI на спутниковом изображении использована программа QGIS.

При сравнении двух полученных изображений с рассчитанным NDVI можно увидеть, что на изображении с проведением атмосферной коррекции значения вегетационных индексов являются более корректными, чем на изображении без проведения атмосферной коррекции.

### **2.3 Вывод по 2 главе**

В данной главе проведена разработка и реализация модуля атмосферной коррекции спутниковых изображения Landsat-8, выполненная на языке Python. Представлена обобщенная диаграмма вариантов использования функций первичной обработки дистанционного зондирования Земли, блок-схема алгоритма работы метода DOS, блок-схема алгоритма работы модуля атмосферной коррекции. Также представлены результаты работы проведения атмосферной коррекции на необработанных снимках со спутника Landsat-8, с помощью разработанного модуля.

После того, как получены результаты работы представленного модуля на спутниковых изображениях, проведен расчет индекса NDVI на обработанном и необработанном снимке. После получения результатов расчета NDVI с помощью программы QGIS, сделан вывод о том, что работа разработанного модуля атмосферной коррекции действительно позволяет нивелировать влияние различных эффектов атмосферы на космические снимки и тем самым получать более корректные значения NDVI, используемых для оценки состояния посева.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате бакалаврской работы выполнены все поставленные задачи. Проведен обзор методов и инструментов для проведения атмосферной коррекции с описанием выбранного метода DOS для его последующей реализации. В процессе разработки программного модуля составлена блок-схема алгоритма работы модуля атмосферной коррекции.

В результате работы осуществлена реализация модуля атмосферной коррекции методом DOS, и приведены результаты проверки работоспособности разработанного модуля на примере космического снимка, полученного со спутника Landsat-8 с датой съемки 2017-08-07.

Также в результате экспериментальной апробации сделан вывод о том, что исключение влияния атмосферы на космический снимок с помощью разработанного модуля, действительно позволяет добиться наиболее точных показаний вегетационных индексов, используемых для того, чтобы оценить состояние посева. Что в дальнейшем поможет агрономам узнать о состоянии сельскохозяйственных культур на различных стадиях вегетации, в том числе выявление полей, имеющих отклонения от норм развития.

Разработанный модуль атмосферной коррекции встроен в программного-аппаратный комплекс ГИС ИКИТ СФУ, о чем свидетельствует составленный акт об использовании в структуре работы комплекса (Приложение А).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белов, В. В. О точности и быстродействии RTM-алгоритмов атмосферной коррекции спутниковых изображений в видимом и УФ-диапазоне / В. В. Белов, М. В. Тарасенков // Там же. – 2013. – Т. 26, № 7. – С. 564–571.
2. Болсуновский, М. А. Атмосферная коррекция в ПО ENVI. Модуль FLAASH / М. А. Болсуновский, А. С. Черепанов // Геопрофи. – 2006. – № 5. – С. 22–24.
3. Брежнев, Р. В. Модели и алгоритмы информационной поддержки решения задач мониторинга объектов неоднородной пространственной структуры по данным дистанционного зондирования Земли : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.17 / Брежнев Руслан Владимирович. – Красноярск, 2017. – 74 с.
4. ГОСТ 2.105–95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. – Взамен ГОСТ 2.105–79, ГОСТ 2.906–71 ; введ. 01.07.1996. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 3 с.
5. ГОСТ 19.701–90 Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения – Введ. 01.01.1992. – Москва : Издательство стандартов, 1991. – 4 с.
6. Зубкова, К. И. Оценка погрешности расчета NDVI при использовании эмпирических методов учета влияния атмосферы / К. И. Зубкова, Т. Г. Курылева, Л. И. Пермитина // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2016. – Т. 3, № 2. – С. 24–30.
7. Кашкин, В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений : учеб. пособие / В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. – Москва : Логос, 2001. – 264 с.
8. Колесникова, О. Н. Новая версия программного комплекса ENVI / О. Н. Колесникова, Н. Б. Ялдыгина // Геоматика. – 2009. – № 2. – С. 24–29.
9. Лысенко, С. А. Атмосферная коррекция многоспектральных спутниковых снимков на основе аппроксимационной модели переноса солнечного излучения / С. А. Лысенко // Оптика атмосферы и океана. – 2017. – Т. 30, № 9. – С. 775–788.

10. Маглинец, Ю. А. Развитие средств автоматизации приема и обработки спутниковой информации региональной системы ДЗЗ СФУ / Ю. А. Маглинец, Р. В. Брежнев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 3. – С. 120–128.

11. Мальцев, Е. А. Разработка алгоритмов обработки данных дистанционного зондирования Земли для распознавания пространственных объектов сельскохозяйственного назначения с линейной геометрической структурой : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.17 / Мальцев Евгений Алексеевич. – Красноярск, 2016. – 47 с.

12. Николенко, А. А. Атмосферная коррекция гиперспектральных данных авиакосмического дистанционного зондирования агросистем / А. А. Николенко // Журнал радиоэлектроники. – 2015. – № 7. – С. 3–10.

13. Протасов, К. Т. Метод преобразования гистограмм яркостей и вейвлет-коррекция атмосферных искажений спутниковых изображений / К. Т. Протасов, Л. А. Бусыгин, В. В. Белов // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23, № 2. – С. 136–142.

14. Разработка методов мониторинга пахотных земель России по данным спутниковых наблюдений радиометром MODIS / С. А. Барталев, Е. А. Лупян, И. А. Нейштадт, Е. В. Щербенко. – Москва : ИКИ РАН, 2007. – 222 с.

15. Самардак, А. С. Геоинформационные системы : учебное пособие / А. С. Самардак. – Владивосток : ТИДОТ ДВГУ, 2005. – 123 с.

16. СТО 4.2–07–2014 Система менеджмента к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Введ. 30.12.2013. – Красноярск : СФУ, 2013. – 60 с.

17. Тарасенков, М. В. Алгоритм атмосферной коррекции спутниковых изображений неоднородной земной поверхности в видимом и УФ-диапазонах длин волн / М. В. Тарасенков, В. В. Белов // Вычислительные технологии. – 2014. – Т. 19, № 3. – С. 48–56.

18. Энгель, М. В. Оптические характеристики атмосферы по данным ДЗЗ и атмосферная коррекция спутниковых изображений земной поверхности :

автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.04.05 / Энгель Марина Владимировна. – Томск, 2014. – 3 с.

19. Якушев, В. П. На пути к точному земледелию [Текст] / В. П. Якушев. – Санкт-Петербург : ПИЯФ РАН, 2002. – 458 с.

20. Brezhnev, R.V. An Ontological Spatial Monitoring System for Agricultural Land Monitoring / R.V. Brezhnev, E.A. Maltsev // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – Vol. 25, No. 2. – P. 201–208.

21. Chavez, P. S. Image-Based Atmospheric Correction — Revisited and Improved / P. S. Chavez // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1996. – Vol. 62, No. 9. – P. 1025–1036.

22. Chavez, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data / P. S. Chavez // Remote Sensing of the Environment. – 1998. – Vol. 24, No. 3. – P. 459–479.

23. Congedo, L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. Release 5.3.2.1 : user guide / L. Congedo. – Carbonia. – 2017. – P. 164.

24. Python 3: преимущества и недостатки языка [Электронный ресурс] : / – Режим доступа: <https://pythonworld.ru/>

25. Quantum GIS, описание базовых функций [Электронный ресурс] : / – Режим доступа: [http://live.osgeo.org/ru/overview/qgis\\_overview.html](http://live.osgeo.org/ru/overview/qgis_overview.html)

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Акт об использовании результатов проектирования в рамках бакалаврской работы

<p>МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ) ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 660074, Красноярск, ул.Карейская, 26 Телефон: (3912) 912-575 Факс: (3912) 912-575 E-mail: адрес GT@bulakya.sfu-kras.ru</p>	<p>УТВЕРЖДАЮ</p> <p>зам. директора ИКИТ</p> <p>О.И. Киселев</p> 
<p><u>14.06.2018</u> № <u>45</u> на № _____ от _____</p>	
<p><b>АКТ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ</b></p> <p><b>результатов проектирования в рамках бакалаврской работы</b></p>	
<p>« <u>15</u> » <u>июня</u> 2018 г. <span style="float: right;">г. Красноярск</span></p>	
<p>Комиссия в составе: руководитель НУЛ ИПКМ кафедры СИИ ИКИТ Маглинец Юрий Анатольевич, доцент кафедры СИИ ИКИТ Брежнев Руслан Владимирович, осуществила приемо-сдаточные испытания программного модуля для проведения атмосферной коррекции в рамках программно- аппаратного комплекса ГИС ИКИТ СФУ.</p>	
<p>Модуль разработан студентом гр. КИ14-116 Петровой Юлией Сергеевной под руководством доцента кафедры СИИ ИКИТ СФУ Брежнева Руслана Владимировича в рамках выполнения бакалаврской работы.</p>	
<p>В настоящее время программный модуль внедрен в опытную эксплуатацию. Использование данного модуля позволяет корректировать влияние атмосферы на спутниковое изображение для последующего расчета и анализа вегетационных индексов.</p>	
<p>Доцент кафедры СИИ ИКИТ</p>	 Р. В. Брежнев
<p>Руководитель НУЛ ИПКМ</p>	 Ю.А. Маглинец

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

### **Результат проверки в системе «АНТИПЛАГИАТ»**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Сибирский федеральный университет»

---

#### **НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА**

---

660049, Красноярск, пр. Свободный, 79/10, тел. (3912) 2-912-820, факс (3912) 2-912-773  
E-mail: bik@sfu-kras.ru

#### **ОТЧЕТ** о результатах проверки в системе «АНТИПЛАГИАТ»

Автор: Петрова Юлия Сергеевна

Заглавие: Разработка программного модуля атмосферной коррекции спутниковых изображений

Вид документа: Выпускная квалификационная работа бакалавра

По результатам проверки оригинальный текст составляет 75,63%

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Плакаты презентации



Рисунок В.1 — Плакат презентации № 1

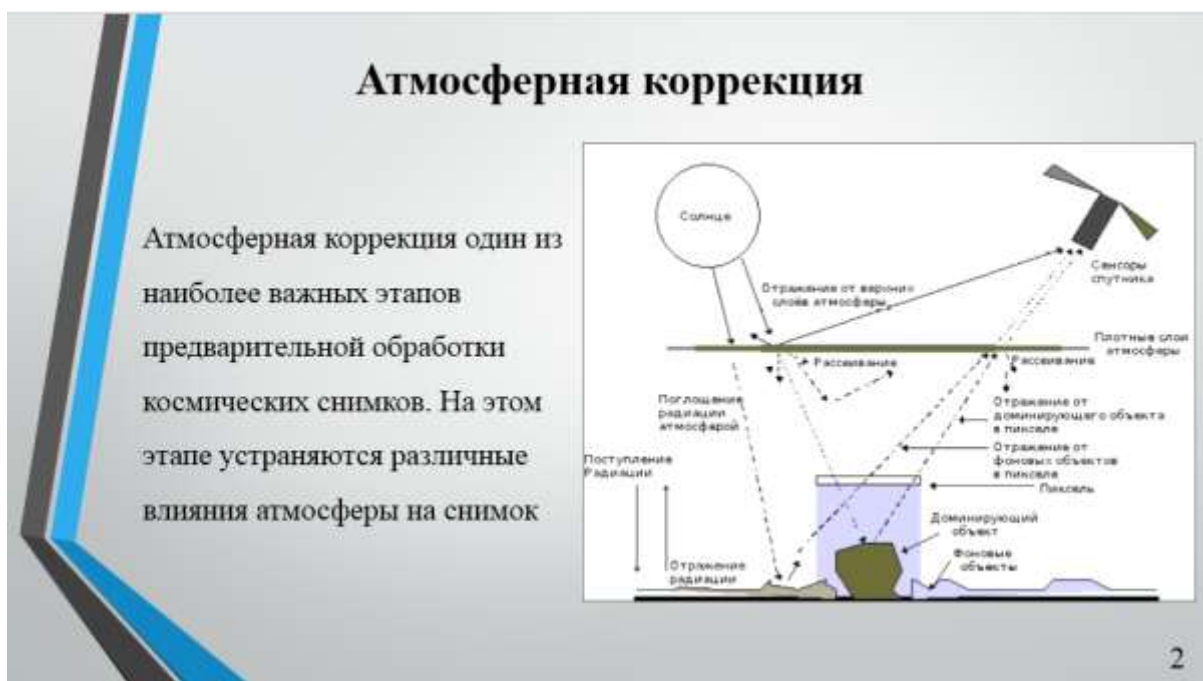


Рисунок В.2 — Плакат презентации № 2



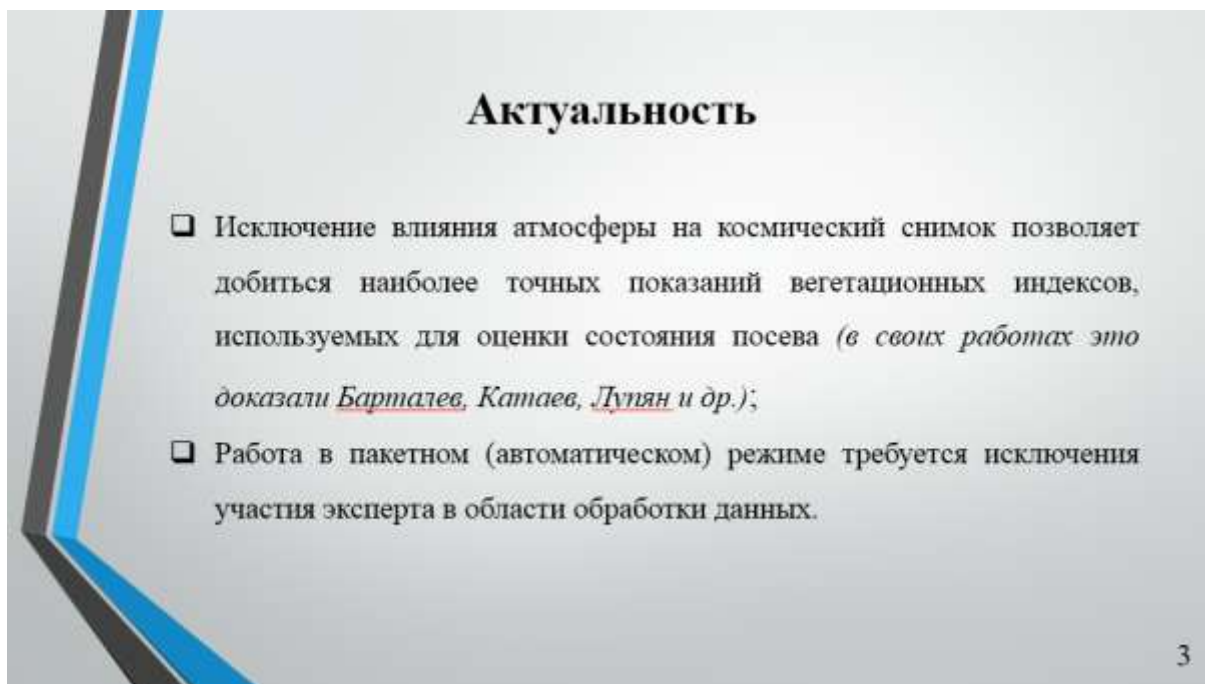


Рисунок В.3 — Плакат презентации № 3

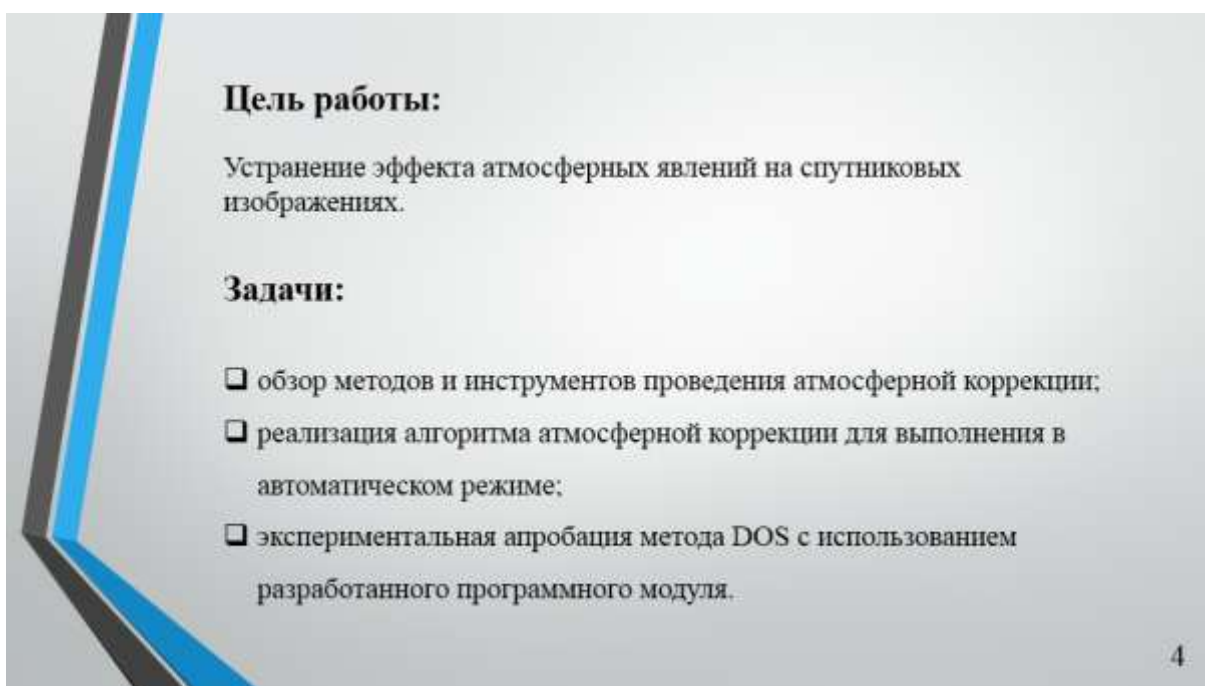


Рисунок В.4 — Плакат презентации № 4



Рисунок В.5 — Плакат презентации № 5



Рисунок В.6 — Плакат презентации № 6

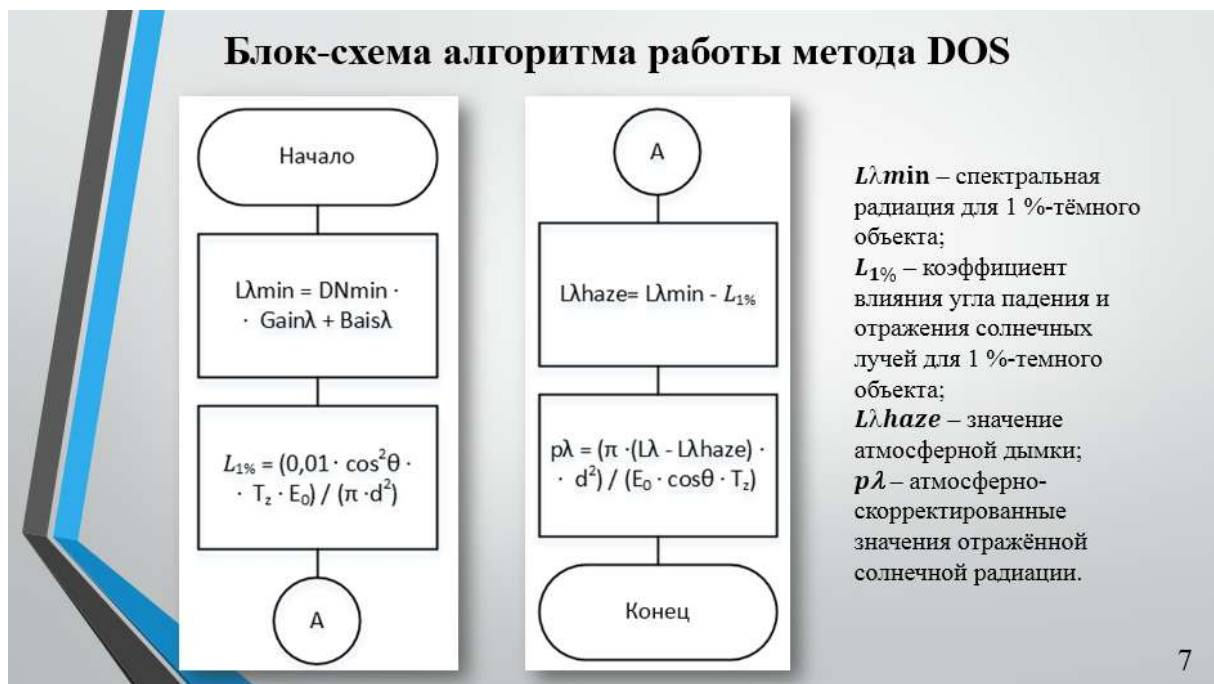


Рисунок В.7 — Плакат презентации № 7



Рисунок В.8 — Плакат презентации № 8



Рисунок В.9 — Плакат презентации № 9



Рисунок В.10 — Плакат презентации № 10





Рисунок В.11 — Плакат презентации № 11

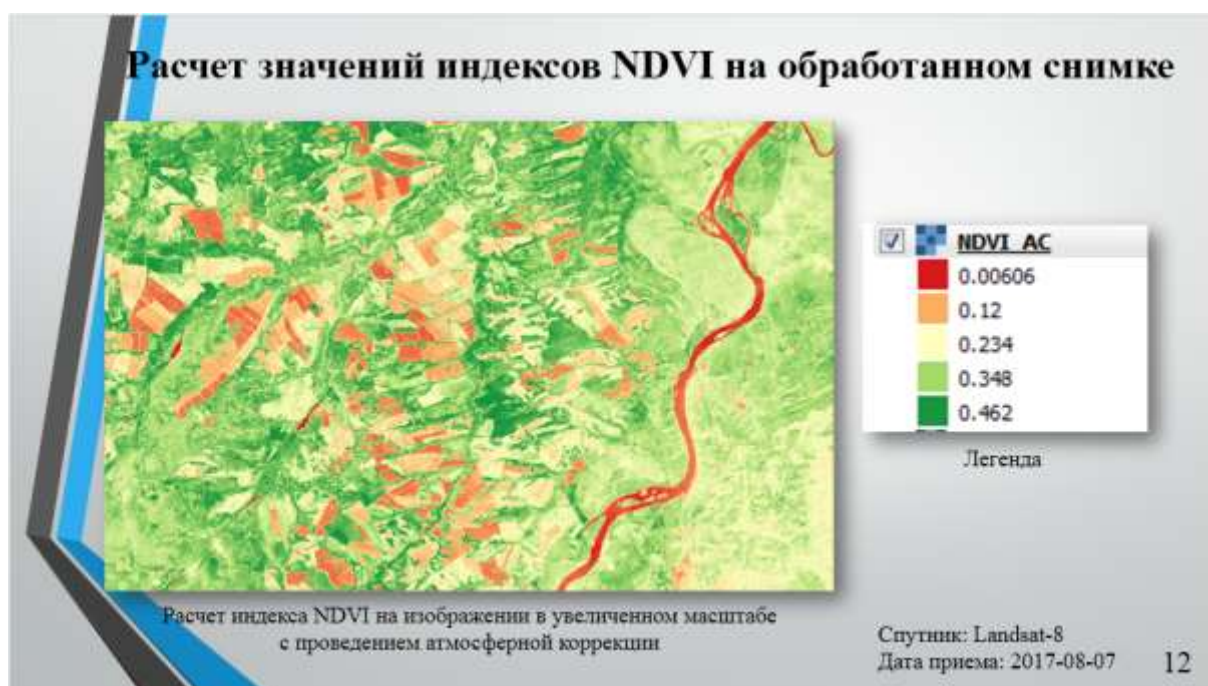
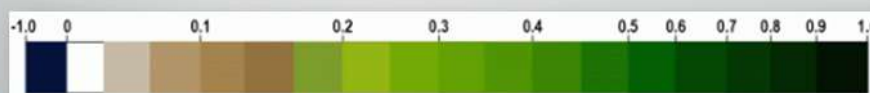


Рисунок В.12 — Плакат презентации № 12

## Значение индекса NDVI для разных типов объектов

Тип объекта	Отражение в красной области спектра	Отражение в инфракрасной области спектра	Значение NDVI
Густая растительность	0.1	0.5	0.7
Разряженная растительность	0.1	0.3	0.5
Открытая почва	0.25	0.3	0.025
Облака	0.25	0.25	0
Снег и лед	0.375	0.35	-0.05
Вода	0.02	0.01	-0.25
Искусственные материалы (бетон, асфальт)	0.3	0.1	-0.5



Дискретная шкала NDVI

13

Рисунок В.13 — Плакат презентации № 13

## Заключение

По ходу выполнения работы были выполнены поставленные задачи.

1. Проведен обзор методов и инструментов проведения атмосферной коррекции;
2. Реализован алгоритм атмосферной коррекции для выполнения в автоматическом режиме;
3. Проведена экспериментальная апробация метода DOS с использованием разработанного программного модуля.

Программный модуль атмосферной коррекции внедрен в программно-аппаратный комплекс ГИС ИКИТ СФУ, о чем свидетельствует акт об внедрении

14

Рисунок В.14 — Плакат презентации № 14